

爆破工程中的岩体力学特性及其对爆破效果的影响

逢凤吉

深圳市和利建设工程有限公司 广东 深圳 518000

摘要: 文章结合岩石爆破工程基本情况,对爆破中的岩体力学特征及其爆破效果影响进行分析。包括岩石爆破基本特征分析,岩体力学特征对爆破效果的影响分析,以及岩石爆破工程中的炸药选型策略。希望通过此次分析,可以为岩石爆破中的炸药选型提供参考,以确保岩体爆破效果。

关键词: 爆破工程; 岩体力学特征; 爆破效果; 炸药选型

前言:在岩石爆破工程中,岩体力学研究是一项关键内容。通过岩石爆破基本特征的合理分析,可明确爆破中岩体力学特性对爆破效果的主要影响,包括岩体基本性质、岩体结构以及岩体物理力学特性等对爆破效果的影响。在此基础上,工程单位与研究者便可对岩石爆破中的炸药做出合理选型,以满足其应用需求,确保岩石爆破施工效果。

1 岩石爆破的基本特性分析

在对岩石爆破性能进行衡量时,单位炸药消耗量是主要的衡量指标,它指的是水平地面爆破成标准抛掷漏斗时,单位体积岩石爆破所需的炸药量。一般情况下,岩石容重及其坚固性都会对爆破效果产生直接影响,爆破过程中,容重越大、越坚固的岩石,其单位炸药消耗量也将越大。同时,岩石断层、孔隙、裂隙、节理等地质构造,也会对其爆破效果产生较大影响。爆破过程

中,岩体自由面大小和数量也将在很大程度上影响其爆破效果,若自由面比较小,数量比较少,岩石爆破中将受到较大的挟制作用,从而降低其爆破效果,增加其爆破时的单位炸药消耗量。另外,岩石自身耦合状态、爆炸方式、装药结构、堵塞质量以及炸药直径等也将对其爆破效果产生不同程度的影响。具体爆破时,若所选炸药类型合理,炸药波阻抗匹配岩石波阻抗,岩石破碎程度将显著提升,炸药能量也将得到更加高效地利用,从而实现岩石爆破效果的合理改善^[1]。而在对岩石爆破过程中的爆破影响进行控制时,工程单位需要将优质性、高效性以及安全性作为准则,通过炸药的合理选择与应用,对岩石爆破效果加以有效控制。由于岩体特征不同,岩土坚固系数不同,所以爆破工程中的抛掷炸药用量以及松动炸药用量也不尽相同。表1是几种不同岩体特征与坚固系数条件下的岩体爆破单位炸药用量情况:

表1 几种不同岩体特征与坚固系数条件下的岩体爆破单位炸药用量情况

| 序号 | 岩石类型 | 岩石特征 | 坚固性系数 | 爆破时的单位炸药用量 | |
|----|--------|----------|-------|--------------------------|--------------------------|
| | | | | 抛掷 | 松动 |
| 1 | 千枚岩、页岩 | 风化 | 2-6 | 1.0-1.2kg/m ³ | 0.4-0.5kg/m ³ |
| 2 | | 破碎完整 | 4-6 | 1.2-1.3kg/m ³ | 0.5-0.6kg/m ³ |
| 3 | | 风化、中薄层 | 4-6 | 1.1-1.2kg/m ³ | 0.4-0.5kg/m ³ |
| 4 | 砂岩 | 中厚层、中细粒 | 7-8 | 1.3-1.4kg/m ³ | 0.5-0.6kg/m ³ |
| 5 | | 厚层、石英质 | 9-14 | 1.4-1.7kg/m ³ | 0.6-0.7kg/m ³ |
| 6 | 砾岩 | 砂为主,胶结差 | 5-8 | 1.2-1.4kg/m ³ | 0.5-0.6kg/m ³ |
| 7 | | 砾为主,胶结好 | 9-12 | 1.4-1.6kg/m ³ | 0.6-0.7kg/m ³ |
| 8 | 石灰岩 | 中薄层、含泥 | 6-8 | 1.2-1.4kg/m ³ | 0.5-0.6kg/m ³ |
| 9 | | 完整厚层,含硅质 | 9-15 | 1.4-1.6kg/m ³ | 0.6-0.7kg/m ³ |

2 岩体力学特性对爆破效果的影响分析

在岩石爆破施工中,岩体力学特性将对其爆破效果产生直接影响。就既有的岩石爆破施工及其研究经验可知,岩体力学特性对爆破效果产生的影响主要可从以下三方面考虑。第一是岩体基本性质对爆破效果的影响,第二是岩

体结构特性对爆破效果的影响,第三是岩石物理力学特性对爆破效果的影响。以下是具体影响情况分析。

2.1 岩体基本性质对爆破效果的影响

岩石基本性质不仅对其自身可钻性及其可爆性具有直接影响,也会对爆破时的参数选择具有一定影响。因

此在爆破设计时,工程单位与研究者需结合具体岩性来选择计算参数。就目前的岩石爆破工程来看,考虑岩石基本特性影响下的爆破参数选择主要包括以下几方面。

(1)根据岩石基本特性,合理选择爆破施工时的炸药品种。(2)根据岩石基本特性,合理确定其单位体积爆破时的炸药消耗量。(3)根据岩石基本特性,合理确定方量计算以及爆破漏斗计算中的药包排距、药包间距、预

留保护厚度系数、上破裂线系数、压缩圈系数。(4)根据岩石基本特性,合理确定其爆破松散系数,以及抛掷堆积计算过程中所需的塌散系数以及抛距系数^[2]。(5)根据岩石基本特性,合理确定爆破安全计算时所需的地表破坏圈范围、不溢出半径,和爆破振动计算时所需的各类相关系数。表2为几种不同岩土爆破施工中的抛落后松散系数情况:

表2 几种不同岩土爆破施工中的抛落后松散系数情况

| 序号 | 岩石种类 | 松散系数 | 序号 | 岩石种类 | 松散系数 |
|----|------|-----------|----|--------|-----------|
| 1 | 砾石 | 1.10-1.20 | 7 | 砂质黏土 | 1.20-1.25 |
| 2 | 软泥岩 | 1.30-1.37 | 8 | 大块漂石 | 1.20-1.25 |
| 3 | 腐殖土 | 1.20-1.30 | 9 | 中等硬度岩石 | 1.40-1.60 |
| 4 | 黏质页岩 | 1.35-1.45 | 10 | 重壤土 | 1.24-1.30 |
| 5 | 较软岩石 | 1.35-1.45 | 11 | 硬岩石 | 1.45-1.80 |
| 6 | 砂土 | 1.10-1.20 | 12 | 极硬岩石 | 1.45-1.80 |

2.2 岩体结构特性对爆破效果的影响

就目前的岩石爆破工程施工经验来看,岩石走向、软弱层带、节理裂隙、结构面等结构特性也会对其爆破效果产生影响。

首先是岩层走向。对于岩石爆破时的作用方向,根据既有经验,岩层走向和爆破作用方向对于爆破漏斗在纵向上的形状、大小及其破坏扩张方向等将产生直接影响。若爆破作用方向相较于岩层走向,爆破将切断、损坏应力波冲击一侧岩体,并使另一侧临近装药位置的岩层滑出。若爆破作用方向平行于岩层走向,爆破时将难以切断、破坏药包两侧岩体,沿着药室洞壁的岩层或与洞壁相距1-2m范围内的岩层都将滑出,甚至出现极窄的槽型纵向爆破漏斗,从而使药包间隙位置产生隔墙。对于不同岩石走向条件下的爆破效果,经既有经验可知,若爆破作用方向垂直于岩层层理,其爆破时的方量将较正常情况下更多。若爆破作用方向平行于岩层层理,则爆破时的方量将较正常情况下更少,岩石则会被抛出更远距离。若爆破作用方向斜交于岩层层理,岩石抛掷方向将受到一定程度的影响。若爆破地段覆盖层厚度较大,下部基岩层理接近于边坡倾角,爆破漏斗中的覆盖层将会大量抛出,边坡岩石则可能会继续滑塌,从而将漏斗填满,显著降低有效岩石抛掷量^[3]。若山坡高度较大,覆盖层厚度较大,爆破将导致覆盖层整体沿着基岩面滑动,爆破时产生的破裂线也将向上进一步延伸,从而导致大量塌方情况出现。

其次是软弱层带。对于泄能作用,根据既有经验,若爆源中有软弱层带或岩面穿过,并进入临空面,或临空面与爆源之间的软弱层带长度较药包抵抗线最小值

小,爆破时的炸药能量可能会泄出为“冲炮”形式或其他形式,从而显著降低爆破效果。对于应力波反射,经既有经验可知,因软弱带中的介质密度、纵波速度及其弹性模量等都小于两侧岩石,所以在爆破波传递到该界面时,将出现反射或折射等情况,从而加剧迎波侧软弱岩石破坏程度。尤其是在软弱面张开的情况下,此种作用更加显著。对于楔入作用,炸药在爆炸后产生的高温高压气体在膨胀后将快速进入软弱岩体带,从而造成软弱岩表面楔形破裂情况。

再次是节理裂隙。根据既有经验,如果岩体内部发育有节理裂隙,使岩体结构被分割为“半散体”,在爆破施工后,岩体将沿着原有的裂隙呈现出基本解体情况,从而增加爆堆岩体大块率,此时若增大药量,大块率并不会降低,而是会出现飞石情况,严重影响爆破效果。

最后是结构面。根据既有经验,若一次起爆时的药量过大,将导致围岩结构疏松、破碎,在结构面具有较大规模的情况下,药包和结构面距离越近,结构面将在爆破后产生越大的裂缝规模。若在岩石结构内部设置药包,爆破时将有冲炮和泄能作用产生在结构面上,且高温高压气体会在爆破时进入结构面相交部位,从而扩大结构面上的裂隙^[4]。因此在爆破施工中,工程单位不可在结构面内设置药包。

2.3 岩石物理力学特性对爆破效果的影响

根据既有经验,在岩石爆破施工中,物理力学特性对其爆破效果产生的影响主要表现在以下几方面。(1)岩石具有越大硬度,爆破施工时的凿岩钻孔施工速度将会越慢,从而影响爆破施工效率。(2)通常情况下,岩石的抗压强度都非常大,其抗压强度可达抗拉强度的

10-50倍, 并达到抗剪强度的8-12倍。而在爆破施工时, 岩石抗压强度越大, 其爆破难度将越大, 单位体积爆破时所需的炸药量也将越大。(3)若岩石具有较大弹塑性, 其受到扰动后恢复原状的性能将越强, 爆破施工难度也会越大, 从而进一步增加单位体积爆破时所需的炸药量。(4)若岩石韧性比较大, 其开挖和爆破施工的难度将更大, 整体岩石结构会更加不易破碎, 从而增加爆破难度, 导致单位体积爆破时所需的炸药量进一步增加。(5)若岩石脆性比较大, 其变形时损失的能量也将很小, 如此便更容易破碎, 在同等单位体积炸药消耗量条件下获得更好的爆破效果^[5]。(6)若岩石密度较大, 爆破过程中, 其内部冲击波传播速度将减慢, 从而降低爆破效果, 增大单位爆破时的炸药消耗量。(7)若岩石容重较大, 其单位体积质量也较大, 结构致密性较好, 硬度较高, 因此在爆破时, 其单位爆破炸药用量也将越大, 否则将难以获得理想化的爆破效果。

3 岩石爆破工程中的炸药选型策略

3.1 炸药选型原则

在岩石爆破工程中, 若要获取到良好的爆破效果, 除了需根据实际情况合理控制炸药用量之外, 科学合理的炸药选型也尤为重要。通过炸药波阻抗需要匹配岩石波阻抗的理论分析及其实践可知, 如果所选炸药波阻抗等于待爆破岩体的波阻抗, 炸药在爆炸时产生的爆炸波能量将更容易进入岩石内部, 并得到高效利用, 从而对岩石造成更好的破坏, 使工程单位收获更好的岩石爆破效果。基于此, 在具体岩石爆破炸药选型过程中, 工程单位应遵循以下几项原则。(1)在岩石硬度较大的情况下, 工程单位应尽量选择威力较高、密度较高、爆炸速度较高的炸药品种。(2)在满足实际爆破需求的前提下, 工程单位需要对炸药价格进行比对, 争取选择性价比足够高的炸药品种。(3)如果岩石爆破条件下的通风难度较大, 工程单位应尽量选择爆破后烟量少、有毒有害物质含量少的炸药品种。

3.2 匹配岩石选型

经上述分析可知, 在岩石爆破工程中, 炸药波阻抗与岩石波阻抗之间的匹配效果将直接关系到岩石爆破效果, 两者波阻抗之比越接近于1, 爆破效果越好。基于此, 具体施工时, 工程单位应尽量提高炸药的装药密度, 以提升其波阻抗, 优化炸药和岩石的匹配效果。同时, 工程单位也应对爆破中产生的应力波作用以及爆破

气体加以合理利用, 延长其在岩石孔洞中的作用时间, 以确保爆破能量利用的高效性和完全性^[6]。为达到这一目标, 工程单位应使所选炸药爆破压及其爆破速度足够高。基于以上炸药选择需求, 具体选择时, 工程单位应注意以下几点。(1)若岩石坚硬致密, 泊松比较小, 且具有较高的弹性模量, 工程单位应注意选择爆破速度、压力更高的炸药。(2)若岩石坚固性为中等, 工程单位应选择威力和爆破速度适中的炸药。(3)对于裂隙较为发育的围岩, 因其内部无法积蓄过多弹性能, 初始爆破时的应力波难以将其彻底破碎, 所以工程单位应选择爆破压力为中等以下的炸药。(4)若岩石质地较软, 塑性变形较大, 爆破中产生的大部分应力波将消耗在形成空腔过程中, 因此在围岩自身具有较低弹性模量时, 工程单位应选择爆破热量较高、压力较低的炸药。

结束语

综上所述, 对于岩石爆破工程而言, 岩体基本性质、岩体结构特性及其物理力学特性等各项岩体力学特性, 都将对其爆破效果产生直接影响。因此在实际施工中, 工程单位和研究者需结合爆破区域内的岩体力学特性, 合理选择炸药类型。如此不仅可使所选炸药在施工中达到良好的爆破效果, 也可使爆破时的炸药用量得到合理控制, 从而合理节约岩石爆破工程的经济成本。

参考文献

- [1]张佳男,周帆,王万禄,等.昆阳磷矿二矿扰动岩石物力学参数测定试验研究[J].采矿技术,2025(1):42-47.
- [2]杨阳,杨仁树,陈骏,等.岩石爆破基础理论研究进展与展望 I—本构关系[J].工程科学学报,2024(11):1931-1947.
- [3]张硕彦,蒋楠,姚颖康,等.冻结砂岩冲击及爆破破岩能量耗散等效模型研究[J].岩石力学与工程学报,2024(5):1255-1269.
- [4]吴浩,凡奥奇,贾永胜,等.冲击动载下含孔洞岩石的力学特性及破裂机制[J].爆破,2023(4):1-12.
- [5]高启栋,卢文波,范勇,等.岩石钻孔爆破中Rayleigh波的形成机制与演化特性研究[J].岩石力学与工程学报,2023(1):129-143.
- [6]金解放,杨益,廖占象,等.动荷载与地应力对岩石响应特性的影响试验研究[J].岩石力学与工程学报,2021(10):1990-2002.